(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication : **2 738 970**
(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)

(21) N° d'enregistrement national : **95 11078**

(51) Int Cl⁶ : H 04 L 9/10, G 06 K 19/073, G 06 F 12/14

(12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

(22) **Date de dépôt** : 19.09.95.

(30) **Priorité** :

(43) **Date de la mise à disposition du public de la demande** : 21.03.97 Bulletin 97/12.

(56) **Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire** : *Se reporter à la fin du présent fascicule.*

(60) **Références à d'autres documents nationaux apparentés** :

(71) **Demandeur(s)** : *SCHLUMBERGER INDUSTRIES SA SOCIETE ANONYME* — FR.

(72) **Inventeur(s)** : RHELIMI ALAIN et ROSE RENE.

(73) **Titulaire(s)** :

(74) **Mandataire** : SCHLUMBERGER INDUSTRIES.

(54) PROCEDE DE DETERMINATION D'UNE CLE DIVERSIFIEE ASSOCIEE A UN CIRCUIT INTEGRE.

(57) Procédé de détermination d'une clé diversifiée associée à un circuit intégré (10) présentant un plan-mémoire (11).

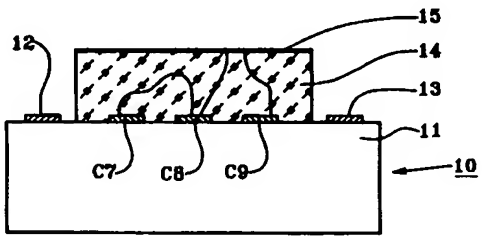
Selon l'invention, le procédé comporte les étapes suivantes:

(a) réaliser une matrice de N contacts électriques C_i (i = 1, ..., N) à la surface dudit plan-mémoire (11),

(b) déposer sur ladite matrice une couche (14) d'un matériau à résistivité électrique inhomogène aléatoire,

(c) déterminer ladite clé diversifiée à partir de la répartition aléatoire des résistances électriques reliant les différents contacts électriques C_i de la matrice.

Application à la sécurisation des cartes à mémoire utilisées en télévision cryptée.



FR 2 738 970 - A1

PROCEDE DE DETERMINATION D'UNE CLE DIVERSIFIEE ASSOCIEE A UN CIRCUIT INTEGRE

La présente invention concerne un procédé de détermination d'une clé diversifiée associée à un circuit intégré. Elle concerne également un circuit intégré sécurisé mettant en oeuvre ledit procédé.

L'invention trouve une application particulièrement avantageuse dans le domaine de la sécurisation des cartes à mémoire, notamment les cartes à mémoire utilisées en télévision cryptée.

D'une manière générale, les cartes à mémoire comportent un corps de carte en matériau plastique et un module électronique inséré dans une cavité aménagée dans ledit corps de carte. Le module électronique est constitué d'un circuit intégré, ou puce, placé sur un support lui-même muni de plages métalliques destinées à assurer la liaison électrique entre le module et un lecteur de cartes. Le circuit intégré peut être une mémoire du type EEPROM, pour l'application aux télécartes par exemple, ou un microprocesseur, pour les applications aux cartes bancaires, à la téléphonie mobile ou encore à la télévision cryptée.

La plupart des cartes à mémoire sont donc utilisées pour effectuer des transactions électroniques, ce qui naturellement ne manque de susciter la tentation de frauder les systèmes mettant en oeuvre des cartes à mémoire de manière à pouvoir bénéficier sans contrepartie financière des services fournis par ces systèmes.

Afin d'éviter, ou du mois de limiter la fraude, les informations échangées avec le module électronique des cartes à mémoire sont cryptées selon des procédés variés qui font l'objet d'une abondante littérature. Il suffit seulement de savoir que les messages reçus par les circuits intégrés des cartes sont chiffrés à l'aide de clés, dites clés diversifiées, stockées dans le plan-mémoire des circuits. Ces clés peuvent elles-même être protégées d'une lecture extérieure en masquant le niveau du plan-mémoire dans lequel elles sont inscrites par plusieurs niveaux de métal faisant office d'écran tout en participant à la dynamique du circuit.

Toutefois, le degré de sécurisation obtenu n'est pas absolu car il est toujours possible pour un fraudeur expérimenté d'accéder aux clés secrètes par une analyse fonctionnelle du circuit intégré.

Aussi, le problème technique à résoudre par l'objet de la présente invention est de proposer un procédé de détermination d'une clé diversifiée associée à un circuit intégré présentant un plan-mémoire, procédé qui permettrait d'atteindre un niveau de protection des clés diversifiées beaucoup plus élevé du fait notamment d'un stockage statique des clés hors du plan-mémoire et donc inaccessible par analyse fonctionnelle du circuit.

La solution au problème technique posé consiste, selon la présente invention, en ce que ledit procédé comporte les étapes suivantes :

(a) réaliser une matrice de N contacts électriques C_i (i = 1, ..., N) à la surface dudit plan-mémoire,

(b) déposer sur ladite matrice une couche d'un matériau à résistivité électrique inhomogène aléatoire,

(c) déterminer ladite clé diversifiée à partir de la répartition aléatoire des résistances électriques reliant les différents contacts électriques C_i de la matrice.

Ainsi, on utilise la structure résistivement aléatoire de ladite couche comme générateur de la clé diversifiée associée au circuit intégré. Celle-ci n'est donc jamais stockée dans le plan-mémoire du circuit et, de ce fait, est reconstruite à chaque mise sous tension du circuit intégré. De plus, on peut observer que la couche de matériau réalise un écran qui protège le circuit contre toutes lectures frauduleuses. Si cette couche est enlevée ou altérée, la clé est modifiée et les informations demeureront cryptées à jamais. Il est impossible de lire par un moyen extérieur au circuit intégré les valeurs des résistances prises en compte par le procédé de l'invention pour déterminer la clé diversifiée.

Afin d'améliorer encore le degré de sécurisation conféré par le procédé conforme à l'invention, il est prévu qu'il comporte à la suite de l'étape (b) une étape consistant à disposer un écran

métallique sur ladite couche de matériau à résistivité électronique inhomogène aléatoire.

Selon un mode de mise en oeuvre particulier du procédé selon l'invention, on réalise ledit matériau à résistivité électrique inhomogène aléatoire en mélangeant une encre à faible résistivité électrique à une encre à forte résistivité électrique.

Enfin, un circuit intégré sécurisé présentant un plan-mémoire est remarquable, selon la présente invention, en ce qu'il comporte une matrice de N contacts électriques C_i (i=1, ..., N) à la surface dudit plan-mémoire, une couche d'un matériau à résistivité électrique inhomogène aléatoire, déposée sur ladite matrice, et des moyens de détermination de ladite clé diversifiée à partir de la répartition aléatoire des résistances électriques reliant les différents contacts électriques C_i de la matrice.

La description qui va suivre en regard des dessins annexés, donnés à titre d'exemples non limitatifs, fera bien comprendre en quoi consiste l'invention et comment elle peut être réalisée.

La figure 1 est une vue de côté d'un circuit intégré sécurisé par la mise en oeuvre du procédé selon l'invention.

La figure 2 est une vue de dessus du circuit intégré de la figure 1.

La figure 3 est un schéma de moyens de détermination d'une clé diversifiée associée au circuit intégré des figures 1 et 2.

La figure 4 est le schéma équivalent des moyens de détermination de la figure 3.

Le circuit intégré 10 montré aux figures 1 et 2 présente un plan-mémoire 11, ou face active, sur lequel sont formés des plots métalliques d'entrée/sortie, tels que 12 et 13 sur les figures 1 et 2, destinés à être reliés par des fils conducteurs aux plages métalliques d'un support, non représenté, qui constitue avec le circuit intégré 10 le module électronique d'une carte à mémoire.

Comme on peut le voir sur les figures 1 et 2, une matrice de N, ici 9, contacts électriques C_i (i = 1,..., 9) a été réalisée à la surface du plan-mémoire 11 du circuit 10. Cette matrice de contacts électriques est recouverte, par sérigraphie par exemple,

d'une couche 14 d'un matériau à résistivité électrique inhomogène aléatoire, tel qu'un mélange d'une encre à faible résistivité électrique avec une encre à forte résistivité électrique. La couche 14 de matériau a, par exemple, une épaisseur de l'ordre de 10 µm au plus.

Ainsi que le montrent les figures 1 et 2, les chemins de courant entre les différents contacts électriques C_i de la matrice peuvent prendre des formes très variées résultant de la structure aléatoire de la résistivité électrique à l'intérieur de la couche 14. C'est cette répartition aléatoire des résistances électriques entre les contacts C_i qui constitue la base du procédé de détermination d'une clé diversifiée associée au circuit intégré 10, ladite clé étant en quelque sorte une expression numérisée de la répartition des résistances, comme cela sera expliqué en détail plus loin.

Notons que la clé secrète du circuit étant finalement contenue dans la couche 14 de matériau, il y a avantage à protéger ladite couche en la recouvrant d'un écran métallique 15 qui peut d'ailleurs participer lui-même à l'établissement des chemins de courant comme l'indique la figure 2.

De même que la couche 14, l'écran métallique 15 peut avoir une épaisseur de 10 µm (à cet égard le dessin de la figure 2 n'est pas à l'échelle).

On a représenté sur la figure 3 un schéma des moyens utilisés pour la détermination de la clé diversifiée appliquée à la structure de circuit des figures 1 et 2.

Ces moyens de détermination comportent un bus comprenant une ligne L_1 à une première tension V_{CC}, une ligne L_2 de mesure et une ligne L_3 à une deuxième tension V_{SS}. Chaque ligne L_1, L_2, L_3 du bus peut être reliée à un contact électrique de la matrice par l'intermédiaire de trois interrupteurs analogiques commandables K_1, K_2, K_3 respectivement. En d'autres termes, chaque contact C_i peut être connecté à une et une seule des lignes L_1, L_2, L_3 du bus.

Le circuit intégré 10 commande les interrupteurs analogiques K_1, K_2, K_3 de manière à définir un ensemble de triplets de contacts électriques noté $(C_j, C_i, C_k)_l$, au nombre de M ($l = 1, \ldots,$

M), les contacts C_j, C_i et C_k étant respectivement reliés aux lignes L_1, L_2, L_3 du bus. On obtient alors le circuit équivalent de la figure 4 dans laquelle R_{ij} et R_{ik} représentent les résistances électriques reliant le contact C_i aux contacts C_j et C_k respectivement.

De manière à pouvoir effectuer une comparaison significative des résistances Rij et Rik, il y a avantage à ce que, pour chaque triplet $(C_j, C_i, C_k)_l$, les contacts C_j et C_k soient équidistants du contact C_i. Dans ce cas, les résistances R_{ij} et R_{ik}, bien qu'équivalentes, sont en général différentes du fait de l'inhomogénéité aléatoire de la résistivité électrique de la couche 14 de matériau. On utilise alors cette différence pour affecter à chaque triplet $(C_j, C_i, C_k)_l$ un bit b_l défini par convention par :

$b_l = 1$ si $R_{ij} > R_{ik}$

$b_l = 0$ si $R_{ij} < R_{ik}$

On a ainsi un ensemble aléatoire de M bits b_l qui, rangés selon une suite ordonnée, détermine la clé diversifiée à attribuer au circuit intégré 10.

En pratique, la tension de la ligne L_2 de mesure est comparée à $(V_{CC} + V_{SS})/2$, le signe de cette comparaison permettant d'établir l'information logique b_l. Cette technique de mesure de résistance relative a l'avantage de s'affranchir des variations de température et de tension.

Il faut également noter que les résistances additionnelles de mesure doivent être très faibles pour ne pas diminuer l'influence de la dispersion des résistances non homogènes à mesurer. En effet, les canaux de mesure ont eux-même des dispersions qui, si elles devenaient trop importantes, rendraient insuffisantes l'influence et la modification de la couche 14 de matériau, ce qui ouvrirait une possibilité de fraude.

Dans l'exemple de la matrice 3 x 3 des figures 1 et 2, les triplets satisfaisant la condition d'équidistance sont :

$(C_1, C_2, C_3)_1$, $(C_4, C_5, C_6)_2$, $(C_7, C_8, C_9)_3$

$(C_4, C_1, C_2)_4$, $(C_2, C_3, C_6)_5$, $(C_8, C_9, C_6)_6$, $(C_4, C_7, C_8)_7$

$(C_1, C_4, C_7)_8$, $(C_2, C_5, C_8)_9$, $(C_3, C_6, C_9)_{10}$

$(C_1, C_5, C_9)_{11}$, $(C_7, C_5, C_3)_{12}$,

$(C_1, C_7, C_9)_{13}$, $(C_1, C_3, C_9)_{14}$,
$(C_2, C_7, C_9)_{15}$, $(C_1, C_8, C_3)_{16}$,
$(C_2, C_4, C_8)_{17}$, $(C_2, C_6, C_8)_{18}$

On obtient alors 18 bits b_l associés chacun à un des 18 triplets, d'où une clé diversifiée à 18 bits.

Au besoin, la clé obtenue peut être corrigée par un code correcteur d'erreur stocké en mémoire à la personnalisation de la carte. Toutefois, ce code ne permet pas de retrouver la clé si on ne dispose pas de la clé initiale.

REVENDICATIONS

1. Procédé de détermination d'une clé diversifiée associée à un circuit intégré (10) présentant un plan-mémoire (11), caractérisé en ce que ledit procédé comporte les étapes suivantes :
   (a) réaliser une matrice de N contacts électriques C_i (i = 1, ..., N) à la surface dudit plan-mémoire (11),
   (b) déposer sur ladite matrice une couche (14) d'un matériau à résistivité électrique inhomogène aléatoire,
   (c) déterminer ladite clé diversifiée à partir de la répartition aléatoire des résistances électriques reliant les différents contacts électriques C_i de la matrice.
2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'étape (c) de détermination de ladite clé diversifiée consiste à :
   - définir un ensemble de M triplets $(C_j, C_i, C_k)_l$ (l = 1, ..., M) de contacts électriques,
   - affecter à chaque triplet un bit b_l défini par convention par :

$$b_l = 1 \quad \text{si} \quad R_{ij} > R_{ik}$$
$$b_l = 0 \quad \text{si} \quad R_{ij} < R_{ik}$$

   R_{ij} et R_{ik} étant les résistances électriques reliant le contact C_i aux contacts C_j et C_k respectivement,
   - construire la clé diversifiée sous la forme d'une suite ordonnée des M bits b_l.
3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que pour chaque triplet $(C_j, C_i, C_k)_l$ les contacts C_j et C_k sont équidistants du contact C_i.
4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce qu'il comporte à la suite de l'étape (b) une étape consistant à déposer un écran métallique (15) sur ladite couche (14) de matériau à résistivité électrique inhomogène aléatoire.
5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce qu'on réalise ledit matériau à résistivité

électrique inhomogène aléatoire en mélangeant une encre à faible résistivité électrique à une encre à forte résistivité électrique.

6. Circuit intégré sécurisé présentant un plan-mémoire (11), caractérisé en ce qu'il comporte une matrice de N contacts électriques C_i (i = 1, ..., N) à la surface dudit plan-mémoire (11), une couche (14) d'un matériau à résistivité électrique inhomogène aléatoire, déposée sur ladite matrice, et des moyens de détermination de ladite clé diversifiée à partir de la répartition aléatoire des résistances électriques reliant les différents contacts électriques C_i de la matrice.

7. Circuit intégré sécurisé selon la revendication 6, caractérisé en ce que lesdits moyens de détermination de ladite clé diversifiée sont aptes à :

- définir un ensemble de M triplets $(C_j, C_i, C_k)_l$ (l = 1, ..., M) de contacts électriques,
- affecter à chaque triplet un bit b_l défini par convention par :

$$b_l = 1 \quad \text{si} \quad R_{ij} > R_{ik}$$
$$b_l = 0 \quad \text{si} \quad R_{ij} < R_{ik}$$

R_{ij} et R_{ik} étant les résistances électriques reliant le contact C_i aux contacts C_j et C_k respectivement,

- construire la clé diversifiée sous la forme d'une suite ordonnée des M bits b_l.

8. Circuit intégré sécurisé selon la revendication 7, caractérisé en ce que pour chaque triplet $(C_j, C_i, C_k)_l$ les contacts C_j et C_k sont équidistants du contact C_i.

9. Circuit intégré sécurisé selon l'une des revendications 7 ou 8, caractérisé en ce que lesdits moyens de détermination de la clé diversifiée comportent, d'une part, un bus comprenant une ligne (L_1) à une première tension V_{CC}, une ligne (L_2) de mesure et une ligne (L_3) à une deuxième tension V_{SS}, d'autre part, et trois interrupteurs analogiques commandables (K_1, K_2, K_3) destinés à relier chaque contact C_i à l'une des lignes (L_1, L_2, L_3).

10. Circuit intégré sécurisé selon l'une quelconque des revendications 6 à 9, caractérisé en ce que ladite couche (14) de matériau à résistivité électrique inhomogène aléatoire est recouverte d'un écran métallique (15).

11. Circuit intégré sécurisé selon l'une quelconque des revendications 6 à 10, caractérisé en ce que ledit matériau à résistivité électrique inhomogène aléatoire est un mélange d'une encre à forte résistivité électrique et d'une encre à faible résistivité électrique.

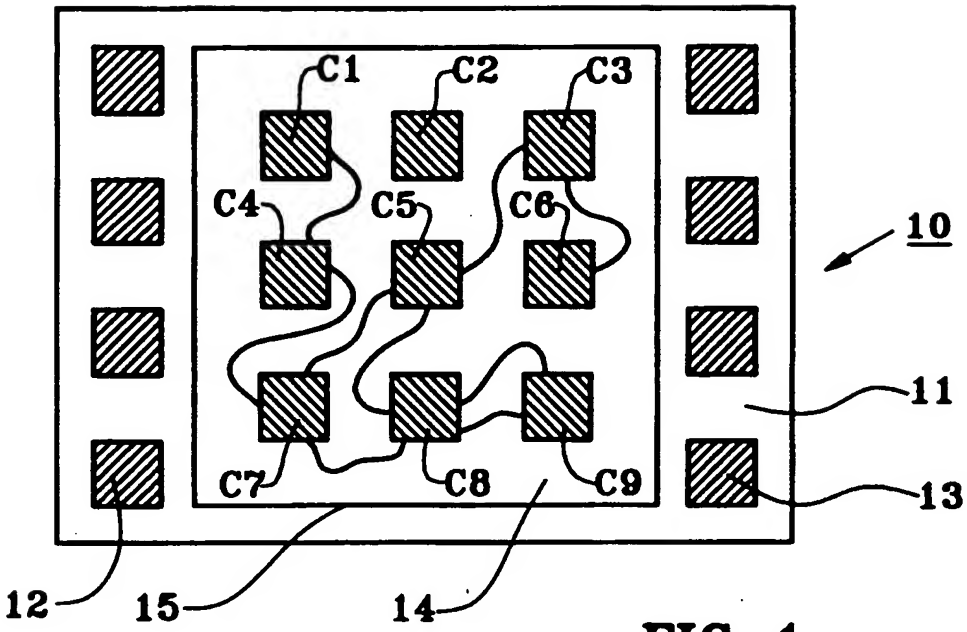


FIG. 1

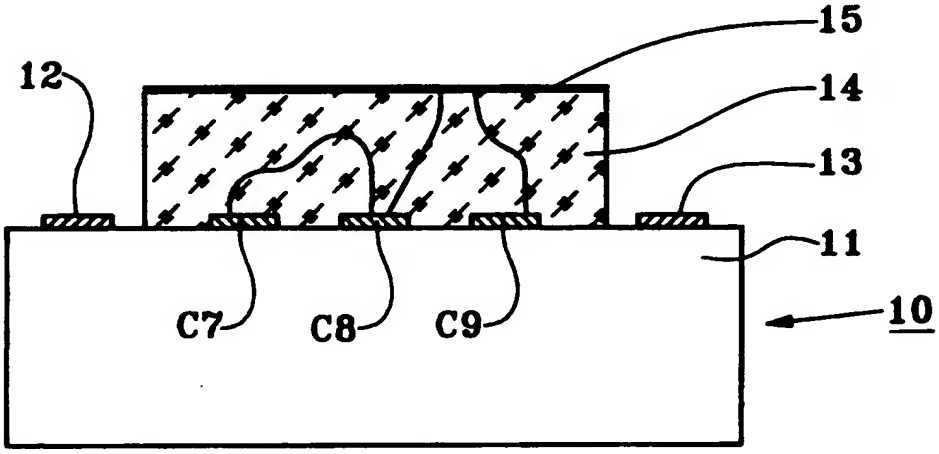


FIG. 2

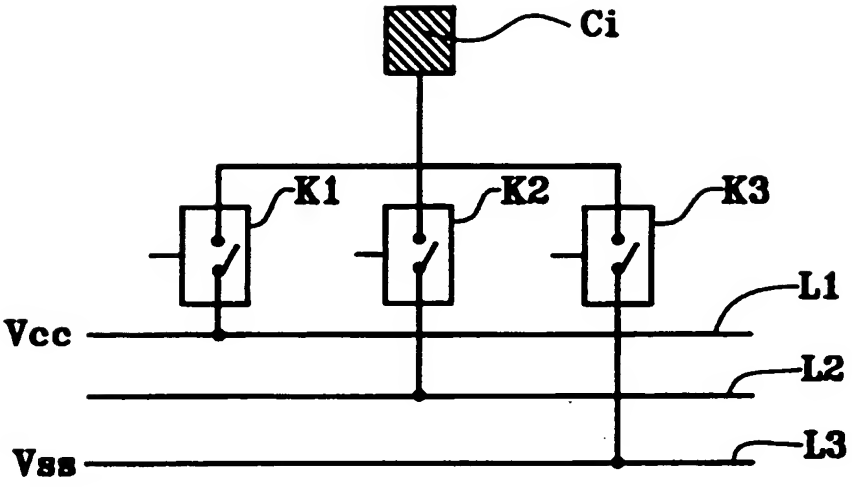


FIG. 3

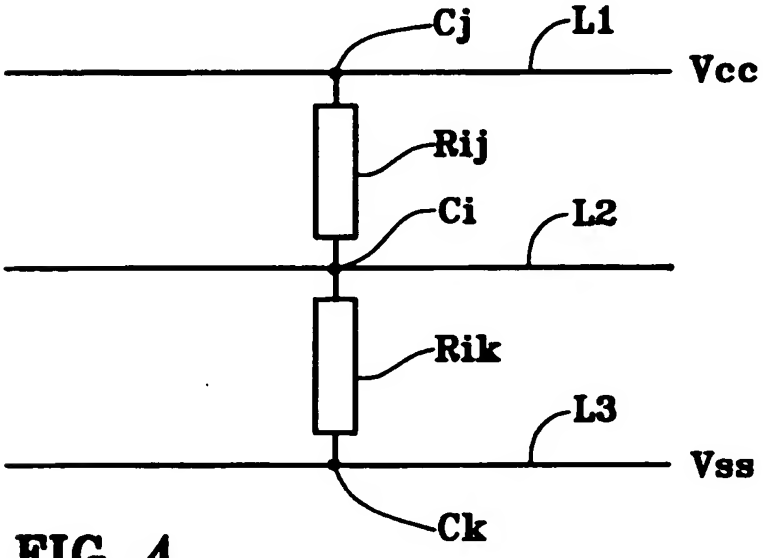


FIG. 4

REPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
de la
PROPRIETE INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE PRELIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications déposées avant le commencement de la recherche

2738970
N° d'enregistrement national

FA 519591
FR 9511078

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendications concernées de la demande examinée
A	EP-A-0 583 709 (THOMSON CONSUMER ELECTRONICS) * le document en entier *	1,6
A	US-A-4 591 189 (R.E. HOLMEN) * abrégé; figure 5 * * colonne 4, ligne 10 - ligne 30 *	1,4,6,10
A	FR-A-2 471 083 (ELECTRONIQUE MARCEL DASSAULT)	
A	DE-A-42 43 888 (GAO)	
A	US-A-3 636 318 (G. LINDSTROM)	

DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.6)

G07F
G06K

1

Date d'achèvement de la recherche: 5 Juillet 1996

Examinateur: David, J

EPO FORM 1503 03.82 (P04C13)

CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES

X : particulièrement pertinent à lui seul
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie
A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général
O : divulgation non-écrite
P : document intercalaire

T : théorie ou principe à la base de l'invention
E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.
D : cité dans la demande
L : cité pour d'autres raisons

& : membre de la même famille, document correspondant